

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 8 年 5 月 2 1 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 0 年 特 許 願 第 1 3 9 6 2 3 号

出 願 人

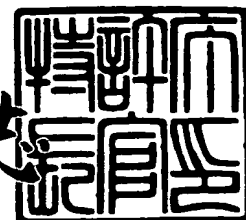
Applicant (s):

富士写真フイルム株式会社

1 9 9 9 年 4 月 2 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

伴 佐 山 建 志



出 証 番 号 出 証 特 平 1 1 - 3 0 1 9 7 0 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 P23864J

【提出日】 平成10年 5月21日

【あて先】 特許庁長官 荒井 寿光 殿

【国際特許分類】 H01L 7/00

【発明の名称】 半導体レーザおよびその製造方法

【請求項の数】 3

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798番地 富士写真フイルム株式会社内

    【氏名】 早川 利郎

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798番地 富士写真フイルム株式会社内

    【氏名】 福永 敏明

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798番地 富士写真フイルム株式会社内

    【氏名】 和田 貢

【特許出願人】

    【識別番号】 000005201

    【郵便番号】 250-01

    【住所又は居所】 神奈川県南足柄市中沼 210番地

    【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

    【代表者】 宗雪 雅幸

【代理人】

    【識別番号】 100073184

    【郵便番号】 222-00

    【住所又は居所】 横浜市港北区新横浜 3-18-20 BENEX S-

1 7階

【弁理士】

【氏名又は名称】 柳田 征史

【電話番号】 045-475-2623

【選任した代理人】

【識別番号】 100090468

【郵便番号】 222-00

【住所又は居所】 横浜市港北区新横浜 3-18-20 BENEX S  
-1 7階

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐久間 剛

【電話番号】 045-475-2623

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008969

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001631

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザおよびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも量子井戸層および光ガイド層を含む活性領域が、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなり、クラッド層が  $\text{AlGaAs}$  からなる半導体レーザにおいて、

前記光ガイド層の厚みが少なくとも一方において  $0.25 \mu\text{m}$  以上とされ、

この光ガイド層の上にある上部  $\text{AlGaAs}$  クラッド層が一部、光ガイド層との界面まで選択的に除去されていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】 前記上部  $\text{AlGaAs}$  クラッド層が、光ガイド層との界面まで選択的に除去された構造が、リッジ構造をなしていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 3】 請求項 1 記載の半導体レーザを製造する方法において、  
光ガイド層の厚みを少なくとも一方において  $0.25 \mu\text{m}$  以上に設定しておき、  
この光ガイド層の上に上部  $\text{AlGaAs}$  クラッド層を形成し、  
その後この上部  $\text{AlGaAs}$  クラッド層を一部、光ガイド層との界面まで選択的にエッチング除去することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体レーザに関し、より詳しくは、少なくとも量子井戸層および光ガイド層を含む活性領域が、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなる半導体レーザに関するものである。

【0002】

また本発明は、この種の半導体レーザを製造する方法に関するものである。

【0003】

【従来の技術】

半導体レーザの用途拡大は著しく、特に  $\text{GaAs}$  基板を用い、 $0.7\text{--}1.1 \mu\text{m}$  帯に発振波長を有する半導体レーザは、従来の光ディスクやレーザプリンタばかり

でなく、その高出力化に伴い固体レーザやファイバ増幅器あるいはファイバレーザ励起用光源、2次高調波発生の1次光源、印刷などにおける熱書き込み感材へのレーザサーマル方式による画像形成用光源、医療用、レーザ加工や半田付け等の光源として用いられるようになってきた。

【0004】

これらの応用においては、半導体レーザの高出力化が極めて重要である。 $5\mu\text{m}$ 程度以下の狭幅の単一モードレーザにおいては、例えば $0.98\mu\text{m}$ や $1.02\mu\text{m}$ のファイバ増幅器励起光源として、最大光出力 $500\text{mW}$ 以上、実用光出力 $150\text{mW}$ 以上が報告されている。他方、ストライプ幅が $50\mu\text{m}$ 程度以上の多モードレーザにおいては、例えば発振波長 $0.87\mu\text{m}$ での最大破壊光出力は、 $100\mu\text{m}$ 幅素子で $11.3\text{W}$ 、 $200\mu\text{m}$ 幅素子で $16.5\text{W}$ が報告されている (S.O'Brien, H.Zhao and R.J.Laing, Electronics Letters, Vol.34, No.2, p.184 (1998)参照)。

【0005】

また本発明者らは、発光領域近傍(量子井戸層、および量子井戸に隣接してバリアとなる光ガイド層)をAlフリーとしてAlの酸化による突発故障を防止し、かつ、活性領域からの電子の漏れによる温度特性劣化を防止するためにクラッド層にAlGaAsを採用して、高出力化を達成できるようにした半導体レーザを提案した(参考文献1: T.Fukunaga, M.Wada, H.Asano and T.Hayakawa, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.34, No.9B, p.L1175 (1995)参照)。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

この本発明者らが提案した半導体レーザにおいて、InGaPクラッド層の厚みは片側で $0.1\mu\text{m}$ (両側計 $0.2\mu\text{m}$ )と、活性層量子井戸へのレーザ光の閉じ込め係数( $\Gamma$ )が比較的大きかった。このため、ストライプ幅が $50\mu\text{m}$ のデバイスをAPC(Automatic Power Control)モードにて $500\text{mW}$ 、 $50^\circ\text{C}$ にてエージングした時の駆動電流の劣化率は、メディアン値で $5 \times 10^{-5} \text{h}^{-1}$ と比較的大きかった。また、ストライプ幅が $200\mu\text{m}$ のデバイスをAPCモードにて $2000\text{mW}$ 、 $25^\circ\text{C}$ にてエージングした時の駆動電流の劣化率は、同じくメディアン値で $5 \times 10^{-5} \text{h}^{-1}$ であった。

## 【0007】

これらの幅広のストライプを有する高出力半導体レーザは5%程度の電流上昇で発振停止に至るため、後者の寿命のメディアン値は1000時間程度と推定され、これでは実用上不十分である。また、上記従来の半導体レーザは利得導波型であるため、横モード変動により電流-光出力などの発振基本特性が不安定になるという問題も認められる。

## 【0008】

また、上記のものとは材料構成が異なるAlフリー材料を採用し、かつ光ガイド層の厚みを増して活性層量子井戸へのレーザ光の閉じ込め係数( $\Gamma$ )を低減して、高出力化を図った半導体レーザも知られている(参考文献2: J.K.Wade, L.J.Mawst, D.Botez, R.F.Nabiev, M.Jansen, L.A.Morris, Appl. Phys. Lett. Vol. 72, No.1, P.4 (1998)並びに、参考文献3: M.A.Emanuel, J.A.Skidmore, R.J.Beach, SPIE Proceeding, Vol.3001, p.2 (1997)参照)。

## 【0009】

しかしながら、参考文献1に記載されているように、特に850nm以下の波長域においては、クラッド層もAlを含まない材料から形成した場合、GaAs基板に格子整合する材料として最大の禁制帯幅を有するInGaPを用いても電子障壁が不十分なため、p型クラッド層への電子のリークによる温度特性劣化を招いてしまう。

## 【0010】

また、この種の屈折率導波型素子を作製する場合には、InGaPクラッド層とInGaAsP光ガイド層の化学的性質が似通っているため、これらの層の界面にてエッチングを停止することが困難となる。

## 【0011】

さらに、p型クラッド層への電子のリークによる温度特性劣化を低減するため、クラッド層にInGaAlPを採用した素子が報告されている(参考文献2参照)。しかしこれについては、利得導波型の報告にとどまっており、屈折率導波型への最適化については考えられていない。

## 【0012】

また、一般にp型InGaAlPは電気抵抗と熱抵抗が高くAlGaAsと比べて不利であり、このような材料構成における信頼性の検討もなされていない。屈折率導波構造の素子を作製する場合、GaAs基板上の材料では活性層を大気に露出すると表面の結晶性が劣化して、露出部に相当する結晶界面のキャリアの非発光再結合による著しい劣化を生じる。

## 【0013】

このため、活性層直上までエッチング加工する構造が一般的に用いられている。この場合、従来は図2のリッジ導波路型レーザを例に示すように、エッチング時間の制御により上部クラッド層を $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ 程度僅かに残す形でエッチングしていた。

## 【0014】

このようなエッチング時間制御では、エッチング条件やウエハ毎のクラッド層の層厚のばらつきのために再現性が悪くなってしまう。これを解決するために、図3に示すようなエッチング停止層28を導入した構造も提案されている（参考文献4：米国特許第4,567,060号明細書参照）。

## 【0015】

例えばAlGaAsクラッド層とInGaAsP活性領域を組み合わせた材料構成の場合、図3に示すように上部AlGaAsクラッド層にGaAs基板に格子整合するInGaPエッチング停止層（厚み $1\sim 5\text{nm}$ 程度）を挿入することにより、種々のエッチング法においてAlGaAsのエッチングをInGaPエッチング停止層にて止めることが可能となる。

## 【0016】

しかしながら、p型AlGaAsクラッド層中に挿入されたInGaP層は結晶性を悪化させることがあり、電気的な抵抗増加やビルトイン電圧の増加を生じる。これは、結晶成長中に主にAlGaAs表面のAsを成長初期段階でのPが置換して、AlGaAs/InGaPの結晶界面にAlGaAsPを形成するためと考えられる。

【0017】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、Al を含まない活性層材料の使用による長寿命化の効果がより顕著に得られ、そして、長期信頼性もより高い高出力半導体レーザを提供することを目的とする。

【0018】

また本発明は、そのような半導体レーザを製造する方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明による半導体レーザは、少なくとも量子井戸層および光ガイド層を含む活性領域が、前述のようにAl を含まない  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなり、そしてクラッド層がAlGaAs となる半導体レーザにおいて、

光ガイド層の厚みが少なくとも一方において  $0.25 \mu\text{m}$  以上とされ、

この光ガイド層の上にある上部AlGaAs クラッド層が一部、光ガイド層との界面まで選択的に除去されたことを特徴とするものである。

【0020】

また本発明による半導体レーザの製造方法は、上記のような半導体レーザを製造する方法において、

前記光ガイド層の厚みを、少なくとも一方において  $0.25 \mu\text{m}$  以上に設定しておく、

この光ガイド層の上に上部AlGaAs クラッド層を形成し、

その後この上部AlGaAs クラッド層を一部、光ガイド層との界面まで選択的にエッチング除去することを特徴とするものである。

【0021】

【発明の効果】

本発明の半導体レーザにおいては、光ガイド層の厚みを少なくとも一方において  $0.25 \mu\text{m}$  以上としたことにより、量子井戸部の光密度 ( $\Gamma/d$ ) が低減し、それにより、内部損失の低減および、光密度の4乗あるいはそれ以上に比例して増



加するAPCエージング時の駆動電流の劣化速度の低減が実現される。

【0022】

なお本発明の半導体レーザは、光ガイド層の上にある上部AlGaAsクラッド層が一部、光ガイド層との界面まで選択的に除去されて、屈折率導波型の素子構造を形成している。

【0023】

このような屈折率導波型の素子構造を形成するに当たっては、ストライプ外あるいは内のいずれかにて上部クラッド層をエッチング除去するが、従来は、組成や構成元素が異なりエッチング速度が該エッチング除去するクラッド層より著しく遅いエッチング停止層を設けてクラッド層の一部を残す方法（参考文献4参照）や、時間制御のエッチングなどによりクラッド層を一部残す方法（参考文献5：T.Hayakawa, T.Suyama, K.Takahashi, M.Kondo, S.Yamamoto, and T.Hijikata, Applied Physics Letters, Vol.51, No.10, p.707 (1987)参照）が採用されていた。

【0024】

それに対して本発明の半導体レーザの製造方法では、上述のように厚みを増した光ガイド層に到達するまで、クラッド層を全部除去する。この際、硫酸系やクエン酸などの有機酸系のエッチング液を用いることにより光ガイド層にてエッチングを停止することができる。このように、素子特性に悪影響のあるエッチング停止層を用いずにエッチング停止を行なうことにより、屈折率導波構造を再現性良く作製可能となり、そこから、発振基本特性の安定化が実現される。

【0025】

なお従来は、ガイド層が $0.1\mu\text{m}$ 程度と薄かったため、活性層の品質を害することなく劣化を抑制するためにクラッド層を $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 程度残していたが、本発明のように光ガイド層の厚みを $0.25\mu\text{m}$ 以上とした場合は、クラッド層を除去しても全く劣化の問題を生じない。

【0026】

さらに本発明の半導体レーザの製造方法においては、屈折率導波構造を作製する際にクラッド層を一部にて除去した箇所において、活性層量子井戸から光ガイ

ド層表面までの距離の増加により、活性層へのダメージ低減も実現される。

【0027】

以上説明の通り、本発明によれば、A1を含まない活性層材料使用による長寿命化を更に顕著にし、高出力半導体レーザの長期信頼性を大きく改善することができる。特に、屈折率導波型レーザとして高品位の特性を兼ね備えると同時に、これら特性の経時変化もほとんどないか極めて少ないため、雑音や強度・ビーム形状の変化が問題となる画像分野の光源としてシステムの信頼性を大きく向上するものである。

【0028】

これら、画像分野の応用としては半導体レーザ励起固体レーザを用いた印刷システムや、これとSHGとを組み合わせた可視や紫外の光源を用いたプリンタや画像スキャナがある。半導体レーザ光や半導体レーザ光を光ファイバを通した後に熱書き込み用の直接露光光源とする印刷や医療などの関連の熱感材を用いたプリンタ分野の応用においては、一つのシステムに数個から百個程度の高出力半導体レーザを用いるため、本発明の高信頼化効果はシステムの信頼性向上に大きく貢献するものである。

【0029】

さらに本発明の半導体レーザにおいては、光ガイド層の厚みを従来よりも大きくしたことにより、クラッド層へしみ出すエバネッセント光の裾引きが減少し、そのため、特に上部クラッド層を薄くしてもキャップ層の吸収の悪影響を受けにくくなる。したがって、従来 $1.5\mu\text{m}$ 以上必要であった上部クラッド層厚を $1\mu\text{m}$ 以下にすることができる。このように上部クラッド層を薄くすると、屈折率導波構造が有するエッチング後の凹凸の大きさが小さくできるため、リソグラフィプロセスが容易となり精度が向上する。また、デバイス完成後の表面の凹凸の高さも減少するため、チップボンディングの際に均一なろう材のぬれが得られ、放熱特性が向上する。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明

の第1の実施形態による半導体レーザの断面構造を模式的に示すものである。図示の通りこの半導体レーザは、 $n\text{-GaAs}$ 基板1 ( $\text{Si} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ)の上に $n\text{-GaAs}$ バッファ層2 ( $\text{Si} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $0.5 \mu\text{m}$ )、 $n\text{-Al}_{0.63}\text{Ga}_{0.37}\text{As}$ クラッド層3 ( $\text{Si} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $1 \mu\text{m}$ )、アンドープSCH活性層4、 $p\text{-Al}_{0.63}\text{Ga}_{0.37}\text{As}$ クラッド層5 ( $\text{Zn} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $1 \mu\text{m}$ )、 $p\text{-GaAs}$ キャップ層6 ( $\text{Zn} = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $0.3 \mu\text{m}$ )、および $\text{SiO}_2$ 絶縁膜7を有している。

## 【0031】

なおアンドープSCH活性層4は $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層4a (アンドープ、 $\text{Wg} = 0.4 \mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}_{0.75}\text{P}_{0.25}$ 量子井戸層4b (アンドープ、 $10 \text{ nm}$ )、 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層4c (アンドープ、 $\text{Wg} = 0.4 \mu\text{m}$ )からなる。

## 【0032】

以下、この半導体レーザの製造方法を説明する。まず減圧MOCVD法により $n\text{-GaAs}$ 基板1上に $n\text{-GaAs}$ バッファ層2、 $n\text{-Al}_{0.63}\text{Ga}_{0.37}\text{As}$ クラッド層3、アンドープSCH活性層4、 $p\text{-Al}_{0.63}\text{Ga}_{0.37}\text{As}$ クラッド層5、 $p\text{-GaAs}$ キャップ層6を順次積層する。

## 【0033】

次に、フォトリソグラフィと、 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 20:1:1$ 混合液を用いた化学エッチングとにより、底の幅が $200 \mu\text{m}$ のメサストライプ構造を形成する。

このとき、 $p\text{-Al}_{0.63}\text{Ga}_{0.37}\text{As}$ クラッド層5とその下の $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層4cのエッチング速度は、前者の方が20倍以上大きい性質を用いて、メサエッチングを $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層4cの直上にて再現性よく停止することができる。

## 【0034】

その後、プラズマCVDにより $\text{SiO}_2$ 絶縁膜7を形成し、フォトリソグラフィと希釈したHFを用いて、メサの上面のメサの両端から $1 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲よりも内側の部分の $\text{SiO}_2$ 絶縁膜7をエッチング除去する。

## 【0035】

次に、p側電極8 (Ti/Pt/Au) を蒸着および熱処理により形成し、n-GaAs基板1の底面を、研磨により、厚みが100~150 $\mu$ m程度になるまで薄くする。最後に、n側電極9 (AuGe/Ni/Au) 蒸着および熱処理によって形成する。

## 【0036】

このウエハから、共振器長1.5mm、長さ約1.5cmのレーザバーをダイヤモンド針によるスクライブと劈開により切り出し、光出射面は反射率20%、裏面は反射率95%となるように光学膜をコーティングする。最後にダイヤモンド針によるスクライブと劈開により個々のレーザチップを切り出す。このチップを銅ブロックにInはんだを用いてp電極側を接着した。

## 【0037】

この半導体レーザは、室温において波長約809nmで、閾値電流660~700mAで発振し、2W以上の高出力動作が可能であった。図5に、本レーザを25℃2WにてAPC駆動した際の駆動電流の経時変化を示す。ここから、本発明の効果により極めて安定に動作していることが分かる。

## 【0038】

本発明の効果を検討するため、詳細な比較実験を行なった。その結果を以下に記す。

## 【0039】

第1の実験として、InGaP光ガイド層の厚み $W_g$ が異なりその他は上記第1実施形態の半導体レーザと全く同一の素子を作製して、信頼性評価を実施した。図6 ( $W_g=0.11\mu$ m)、図7 ( $W_g=0.25\mu$ m) および図8 ( $W_g=0.6\mu$ m) に、25℃、2W駆動時の駆動電流の経時変化を示す。図6の従来例では劣化が大きく、図7および図8の素子の場合、劣化率が低減して安定動作を実現している。

## 【0040】

また、200時間以降の安定した状態における駆動電流の劣化率(電流増加量/駆動電流値/時間)のメディアン値と光ガイド層厚 $W_g$ との関係を図9に示す。 $W$

$g$  が  $0.25\ \mu\text{m}$  以上では、劣化率が極めて低い値に改善されている。

【0041】

一方図4に、本発明で採用している構造の活性層量子井戸の光密度の逆数に比例する  $d/\Gamma$  ( $d$ : 量子井戸の厚み [ $\mu\text{m}$ ]、 $\Gamma$ : 量子井戸内へのレーザ光の閉じ込め係数) と  $Wg$  との関係の計算値を示す。上記実施形態にて劣化率の低減が見られた  $Wg = 0.25\ \mu\text{m}$  以上においては、量子井戸における光密度が単調に減少する。このために信頼性向上が実現されている。

【0042】

$Wg = 0.6\ \mu\text{m}$  では駆動電流が1割程度増加したため、 $Wg = 0.4\ \mu\text{m}$  の場合と比べると劣化率が上昇している。また、 $Wg = 0.25\ \mu\text{m}$  以上においては良好な信頼性が得られたことから、図2や図3の従来の半導体レーザのように、保護層として薄く残した上部クラッド層を介さず直接  $\text{SiO}_2$  のような絶縁膜を光ガイド層に接して形成しても信頼性が劣化しないことが実証された。また図15に示すように、屈折率導波構造としてキックの無い電流-光出力特性が高出力領域まで得られ、遠視野像、近視野像ともに安定したものが得られた。

【0043】

次に第2の実験として、上記の一連の素子の最大破壊光出力 (COD: Catastrophic Optical Damage) を測定した。図10に示すように、 $Wg$  が変化してもCODはほとんど変化しない。したがって、本発明の材料構成は、前述の参考文献2の報告例のように  $Wg$  の増大によりCODが増加することはない。言い換えると、CODは活性層の光密度とは無関係である。

【0044】

第3の実験として、素子構造は従来と同じ  $Wg = 0.11\ \mu\text{m}$  の素子 (図6の例) の光出射端面の反射率  $R_f$  を11%、20%、30%と変えた3種類の素子を作製し、それらを比較した。

【0045】

これらの素子を  $25^\circ\text{C}$ 、 $1.8\text{W}$  においてAPC駆動した際の、駆動電流劣化率のメディアン値と光出射端面における内部光密度との関係を測定した。図11に示すように、劣化率は光出射端面における内部光密度のほぼ4乗に比例して大きく増大

することが判明し、全体の内部光強度に大きく依存することが分かった。

【0046】

第4の実験として、 $Wg = 0.11 \mu m$ の素子においてCODの $R_f$ 依存性を評価した。図12に示すように、COD光出力は内部光パワーに比例する。

【0047】

以上の結果より、本発明が採用している材料系においては、劣化率は活性層量子井戸の光密度に依存するが、CODはほぼ全体光量の内部光パワーに比例することが分かった。

【0048】

また第5の実験として、種々の素子についてスロープ効率より内部損失 ( $\alpha_i$  [ $cm^{-1}$ ]) の支配要因を検討した。なおこれらの実験は材料評価を目的として、 $50 \mu m$ 幅の酸化膜ストライプ構造の素子をもって行った。量子井戸および複数の量子井戸 (井戸幅 $10 nm$ ) を隔てるバリア層 (光ガイド層と同じアンドープ  $InGaP$ 、厚み $10 nm$ ) と光ガイド層を含む全体の厚みを $0.23 \mu m$ で一定として、量子井戸の数 $Nw$ を1~4個と変化させた場合のスロープ効率の量子井戸数依存性を図13に示す。

【0049】

スロープ効率は、全出射光に対する外部微分量子効率 ( $\eta_d$ ) に比例する。この外部微分量子効率  $\eta_d$  は、下の (数1) 式で示される。

【0050】

【数1】

$$\eta_i \frac{\ln \left( \frac{1}{\sqrt{R_f R_r}} \right)}{\alpha_i L + \ln \left( \frac{1}{\sqrt{R_f R_r}} \right)}$$

【0051】

ここで、 $\eta_i$  : 内部微分量子効率、 $R_f$  : 光出射端面の反射率、 $R_r$  : 後端面の

反射率、 $L$ ：共振器長である。実際には前端面からの光のみ測定あるいは利用される。スロープ効率は、前端面からの出射光量  $L_f$  と後端面からの出射光量  $L_r$  の関係、

【0052】

【数2】

$$\frac{L_f}{L_r} = \sqrt{\frac{R_r}{R_f} \frac{(1-R_f)}{(1-R_r)}}$$

【0053】

から、

【0054】

【数3】

$$\frac{L_f}{L_f + L_r} \eta_d$$

【0055】

として、 $\eta_d$  と関係付けられる。別途、スロープ効率の共振器長依存性の測定結果より、単一量子井戸の場合、 $Wg = 0.11 \mu m$  で  $\alpha_i = 2 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\eta_i = 0.7$  と求められている。図13中の計算値は、 $\eta_i = 0.7$  で一定として、 $\alpha_i = Nw \times 2$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) と仮定した計算値で、実験結果と良く一致している。したがって、本発明の材料系の半導体レーザの残留損失は、量子井戸自身による損失が支配的であると言える。

【0056】

さらに、 $Nw$  が 1 (SQW: Single Quantum Well) と 2 (DQW: Double Quantum Well) の場合について、 $Wg$  の相異なる素子を作製してスロープ効率を測定した。図14に示すように、量子井戸内の光量に比例して内部損失が増加する計算値と傾向が一致することから、残留損失は量子井戸自身による損失が支配的であることが裏付けられた。

## 【0057】

これらの結果より、本発明の材料系の半導体レーザにおいては劣化機構および内部損失が活性層内に起因し、さらには活性層内の光パワーに大きく依存するため、光ガイド層厚 $W_g$ を $0.25\mu\text{m}$ 以上とすることで大きな改善効果が得られるものである。

## 【0058】

次に、本発明の別の実施形態について説明する。図16は、本発明の第2の実施形態による半導体レーザの断面構造を模式的に示すものである。図示の通りこの半導体レーザは、 $n\text{-GaAs}$ 基板41( $S_i = 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ)の上に $n\text{-GaAs}$ バッファ層42( $S_i = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.5\mu\text{m}$ )、 $n\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ クラッド層43( $S_i = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $1\mu\text{m}$ )、アンドープSCH活性層44、 $n\text{-Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ 電流狭窄層45( $S_i = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.8\mu\text{m}$ )、 $n\text{-GaAs}$ 保護層46( $S_i = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.01\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ クラッド層47( $Z_n = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $1\mu\text{m}$ )、および $p\text{-GaAs}$ キャップ層48( $Z_n = 2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.3\mu\text{m}$ )を有している。

## 【0059】

なおアンドープSCH活性層44は、第1の実施形態と同様に $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層44a(アンドープ、 $W_g = 0.25\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}_{0.75}\text{P}_{0.25}$ 量子井戸層44b(アンドープ、 $10\text{nm}$ )、 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層44c(アンドープ、 $W_g = 0.25\mu\text{m}$ )からなる。

## 【0060】

以下、この半導体レーザの製造方法を説明する。本例では、第1の実施形態と異なり、2回の減圧MOCVDにより作製する。まず第1回目のMOCVD成長において、 $n\text{-GaAs}$ 基板41の上に $n\text{-GaAs}$ バッファ層42、 $n\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ クラッド層43、アンドープSCH活性層44、 $n\text{-Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ 電流狭窄層45、 $n\text{-GaAs}$ 保護層46を順次積層する。

## 【0061】

次に、フォトリソグラフィと、 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 20:1:1$ 混合液を用いた



化学エッチングとにより、底の幅が $200\mu\text{m}$ 幅のストライプ溝を形成する。この場合も、アンドープSCH活性層44が $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層44a(アンドープ、 $Wg=0.25\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}_{0.75}\text{P}_{0.25}$ 量子井戸層44b(アンドープ、 $10\text{nm}$ )、 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層44c(アンドープ、 $Wg=0.25\mu\text{m}$ )からなるため、上部 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層44cの直上にてエッチングが停止する。

#### 【0062】

その後第2回目のMOCVD成長として、 $p\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ クラッド層47および $p\text{-GaAs}$ キャップ層48を順次積層する。

#### 【0063】

その後は第1実施形態と同様のプロセスにより、 $p$ 側電極49の形成、基板研磨、 $n$ 側電極50の形成、バー切り出し、端面コーティング、チップ切り出しを行ない、レーザチップが完成する。

#### 【0064】

次に、本発明のさらに別の実施形態について説明する。図17は、本発明の第3の実施形態による半導体レーザの断面構造を模式的に示すものである。図示の通りこの半導体レーザは、 $n\text{-GaAs}$ 基板61( $\text{Si}=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ)の上に $n\text{-GaAs}$ バッファ層62( $\text{Si}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.5\mu\text{m}$ )、 $n\text{-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ クラッド層63( $\text{Si}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $1\mu\text{m}$ )、アンドープSCH活性層64、 $n\text{-Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ 電流狭窄層66( $\text{Si}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.8\mu\text{m}$ )、 $p\text{-GaAs}$ 保護層67( $\text{Si}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.01\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 第1クラッド層65、( $\text{Zn}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $1\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 第2クラッド層68、( $\text{Zn}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $1\mu\text{m}$ )、および $p\text{-GaAs}$ キャップ層69( $\text{Zn}=2\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ドープ、 $0.3\mu\text{m}$ )を有している。

#### 【0065】

なおアンドープSCH活性層64は、既述の実施形態と同様に $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層64a(アンドープ、 $Wg=0.25\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}_{0.75}\text{P}_{0.25}$ 量子井戸層64b(アンドープ、 $10\text{nm}$ )、 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 光ガイド層64c(

アンドープ、 $Wg=0.25\mu m$ )からなる。

【0066】

以下、この半導体レーザの製造方法を説明する。本例では、3回の減圧MOCVDにより作製する。まず第1回目のMOCVD成長において、 $n-GaAs$ 基板61の上に $n-GaAs$ バッファ層62、 $n-Al_{0.55}Ga_{0.45}As$ クラッド層63、アンドープSCH活性層64、 $p-Al_{0.6}Ga_{0.4}As$ 第1クラッド層65および $p-GaAs$ 保護層67を順次積層する。

【0067】

その後、プラズマCVDにより厚み $0.25\mu m$ の $SiO_2$ 膜を形成し、フォトリソグラフィと希釈したHFにより、幅が $200\mu m$ のストライプ状の $SiO_2$ マスクを形成する。次に、 $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=20:1:1$ 混合液を用いた化学エッチングにより、底の幅が $200\mu m$ のメサストライプ構造を形成する。

【0068】

第2回目のMOCVD成長として、 $n-Al_{0.65}Ga_{0.35}As$ 電流狭窄層66および $p-GaAs$ 保護層67を順次積層する。このとき、 $SiO_2$ マスク上にも多結晶が成長するが、次のエッチング工程にて除去できる。次いで $H_2SO_4$ 、 $H_2O_2$ および $H_2O$ の混合液にて短時間のエッチングをした後、希釈したHFにより $SiO_2$ マスクを除去する。

【0069】

その下の $p-GaAs$ 保護層67を $H_2SO_4$ 、 $H_2O_2$ および $H_2O$ の混合液にて短時間エッチングした後、第3回目のMOCVD成長により、 $p-Al_{0.6}Ga_{0.4}As$ 第2クラッド層68および $p-GaAs$ キャップ層69を積層する。

【0070】

その後は既述の実施形態と同様のプロセスにより、 $p$ 側電極70の形成、基板研磨、 $n$ 側電極71の形成、バー切り出し、端面コーティング、チップ切り出しを行ない、レーザチップが完成する。

【0071】

以上、幅 $200\mu m$ のブロードストライプ半導体レーザについてのみ説明したが、これ以外の幅広の横多モードレーザや、ストライプ幅が $6\mu m$ 程度以下の単一

横モード半導体レーザにも本発明を適用することが可能である。

【0072】

そして、量子井戸、光ガイド層を少なくとも含む活性層は基本的に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) であれば良く、部分的に基板に格子整合しない歪み層を用いることも可能である。また、量子井戸を挟む光ガイド層は同一の厚みとしたが、異なってもよい。この際には、量子井戸層は最大光強度の位置よりずれ閉じ込め係数 $\Gamma$ が小さい側へずれるため、厚い方の光ガイド層の厚みが $0.25 \mu\text{m}$ 以上であれば、量子井戸内の光密度を下げる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態であるリッジ導波路型半導体レーザの模式構成図

【図2】

従来のリッジ導波路型半導体レーザの一例を示す模式構成図

【図3】

従来のリッジ導波路型半導体レーザの別の例を示す模式構成図

【図4】

量子井戸における光密度の逆数に比例する「 $d/\Gamma$ 」の値の、光ガイド層厚み $W_g$ に対する依存性を示す説明図

【図5】

本発明による光ガイド層厚 $W_g = 0.4 \mu\text{m}$ のリッジ導波路型半導体レーザの駆動電流の経時変化を示す説明図

【図6】

従来のリッジ導波路型半導体レーザの駆動電流の経時変化を示す説明図

【図7】

本発明による光ガイド層厚 $W_g = 0.25 \mu\text{m}$ のリッジ導波路型半導体レーザの駆動電流の経時変化を示す説明図

【図8】

本発明による光ガイド層厚 $W_g = 0.6 \mu\text{m}$ のリッジ導波路型半導体レーザの駆動電流の経時変化を示す説明図

【図 9】

リッジ導波路型半導体レーザの駆動電流劣化率の、光ガイド層厚み $W_g$ に対する依存性を示す説明図

【図 10】

リッジ導波路型半導体レーザの最大破壊光出力の、光ガイド層厚み $W_g$ に対する依存性を示す説明図

【図 11】

従来のリッジ導波路型半導体レーザの駆動電流劣化率と内部光パワーとの関係を計算値とともに示すグラフ

【図 12】

従来のリッジ導波路型半導体レーザの前端面のコーティングの反射率を変えたときの最大破壊光出力 (COD) の測定値と、前端面の内部光強度の計算値との比較を示す説明図

【図 13】

量子井戸数とスロープ効率との関係の実測値と理論値との比較を示す説明図

【図 14】

SQWとDQWを有する半導体レーザのスロープ効率の、光ガイド層厚 $W_g$ に対する依存性の測定値と計算値とを比較した説明図

【図 15】

本発明によるリッジ導波路型半導体レーザの電流対光出力特性を示す説明図

【図 16】

本発明の第2の実施形態であるリッジ導波路型半導体レーザの模式構成図

【図 17】

本発明の第3の実施形態であるリッジ導波路型半導体レーザの模式構成図

【符号の説明】

- 1      $n$ -GaAs 基板
- 2      $n$ -GaAs バッファ層
- 3      $n$ -Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>As クラッド層
- 4     アンダーペースト活性層

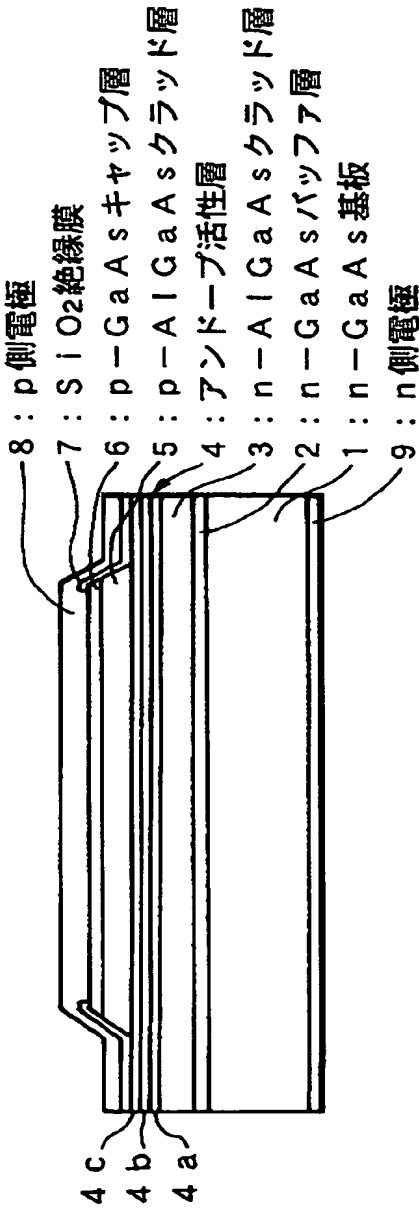
- 4 a     In<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.52</sub>P 光ガイド層
- 4 b     In<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>As<sub>0.75</sub>P<sub>0.25</sub> 量子井戸層
- 4 c     In<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.52</sub>P 光ガイド層
- 5     p-Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>As クラッド層
- 6     p-GaAs キャップ層
- 7     SiO<sub>2</sub> 絶縁膜
- 8     p側電極
- 9     n側電極
- 41     n-GaAs 基板
- 42     n-GaAs バッファ層
- 43     n-Al<sub>0.55</sub>Ga<sub>0.45</sub>As クラッド層
- 44     アンダーブSCH活性層
- 44 a     In<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.52</sub>P 光ガイド層
- 44 b     In<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>As<sub>0.75</sub>P<sub>0.25</sub> 量子井戸層
- 44 c     In<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.52</sub>P 光ガイド層
- 45     n-Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As 電流狭窄層
- 46     n-GaAs 保護層
- 47     p-Al<sub>0.55</sub>Ga<sub>0.45</sub>As クラッド層
- 48     p-GaAs キャップ層
- 49     p側電極
- 50     n側電極
- 61     n-GaAs 基板
- 62     n-GaAs バッファ層
- 63     n-Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As クラッド層
- 64     アンダーブSCH活性層
- 65     p-Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As 第1クラッド層
- 66     n-Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As 電流狭窄層
- 67     p-GaAs 保護層
- 68     p-Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As 第2クラッド層

- 69 p-GaAs キャップ層
- 70 p 側電極
- 71 n 側電極

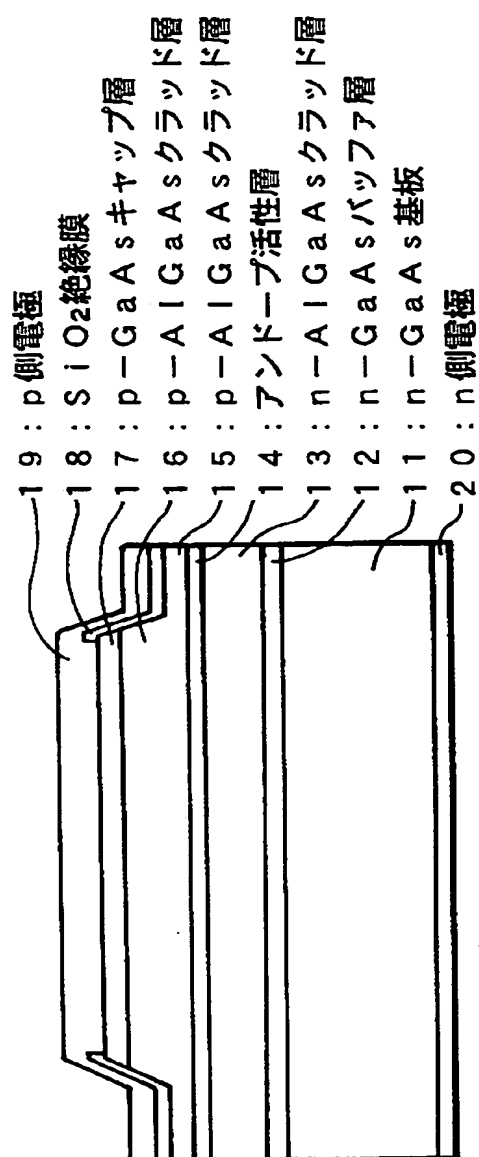
【書類名】

図面

【図 1】

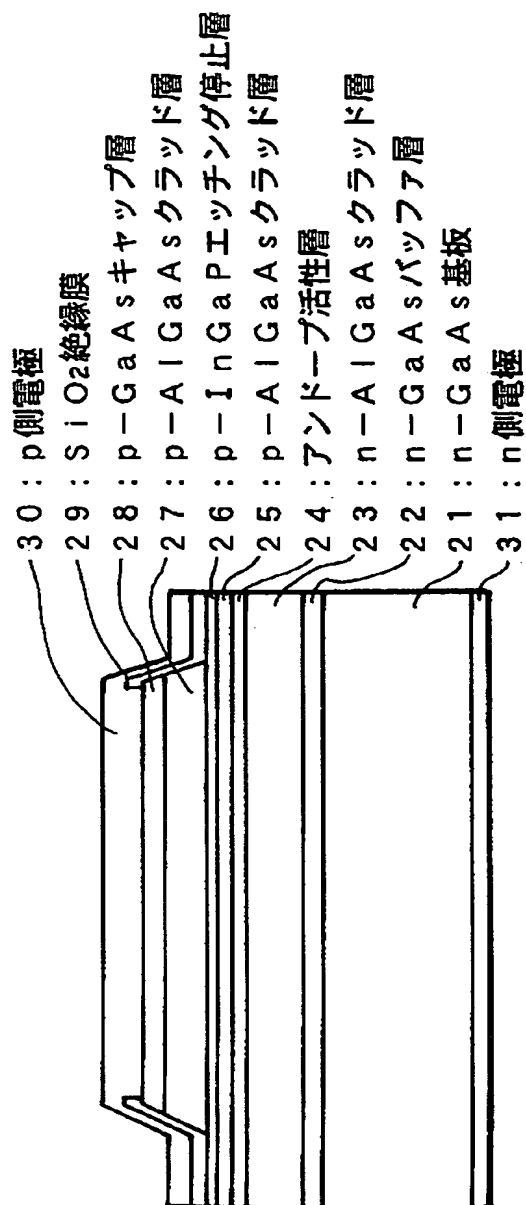


【図 2】

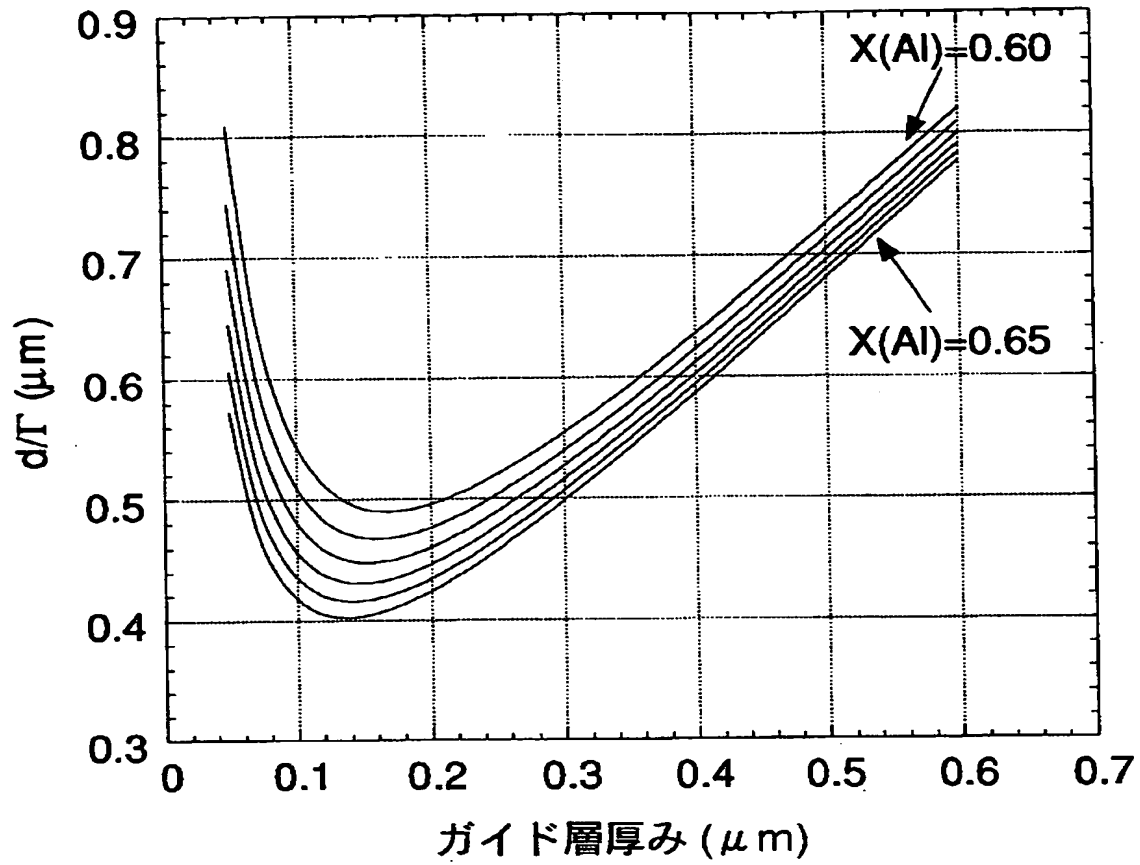




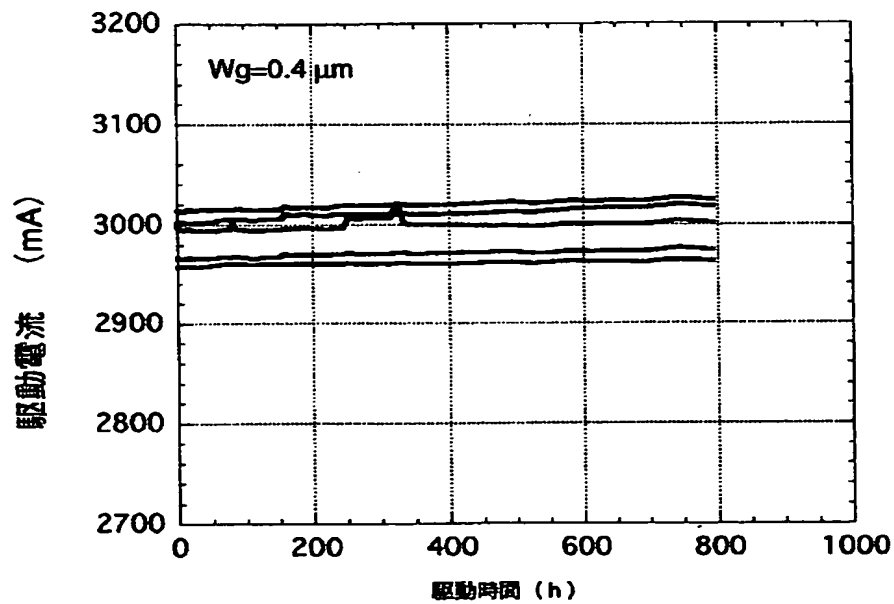
【図 3】



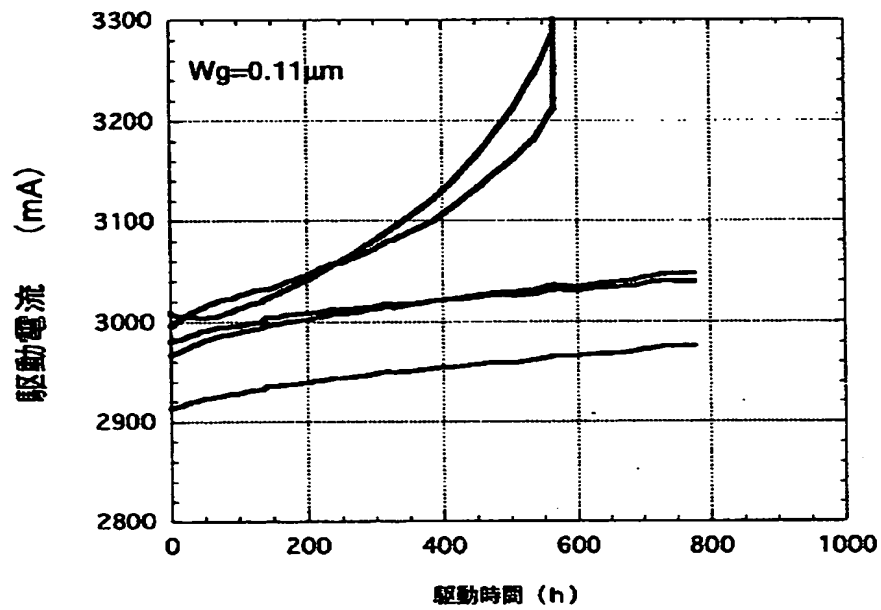
【図 4】



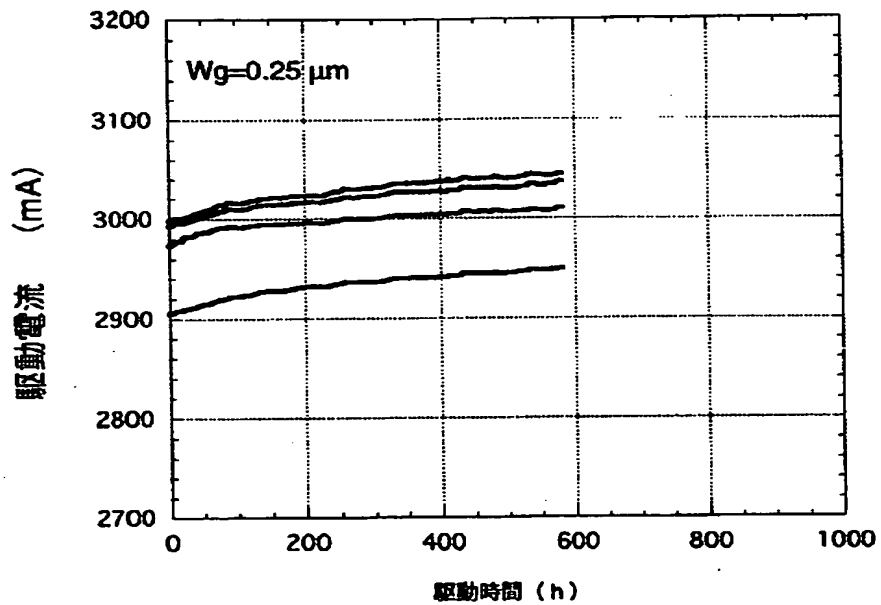
【図 5】



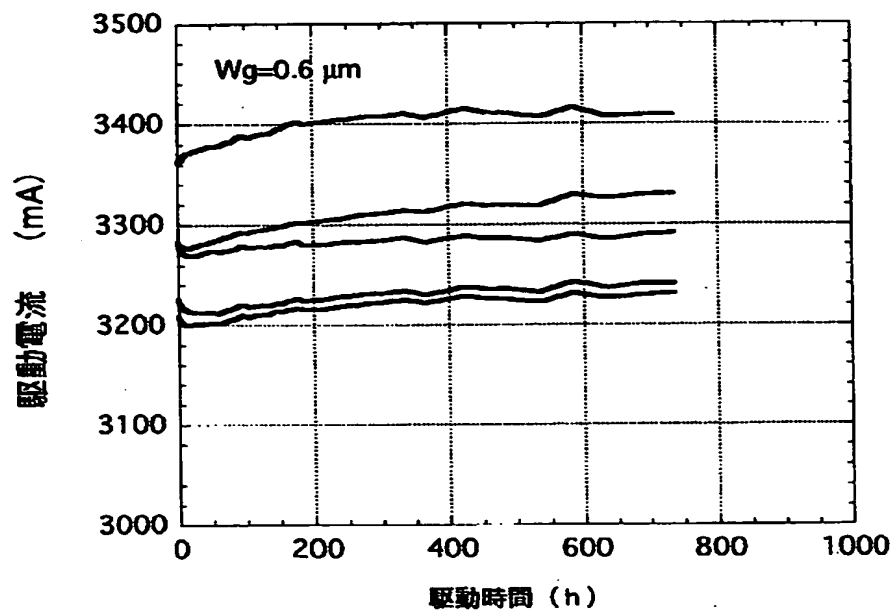
【図 6】



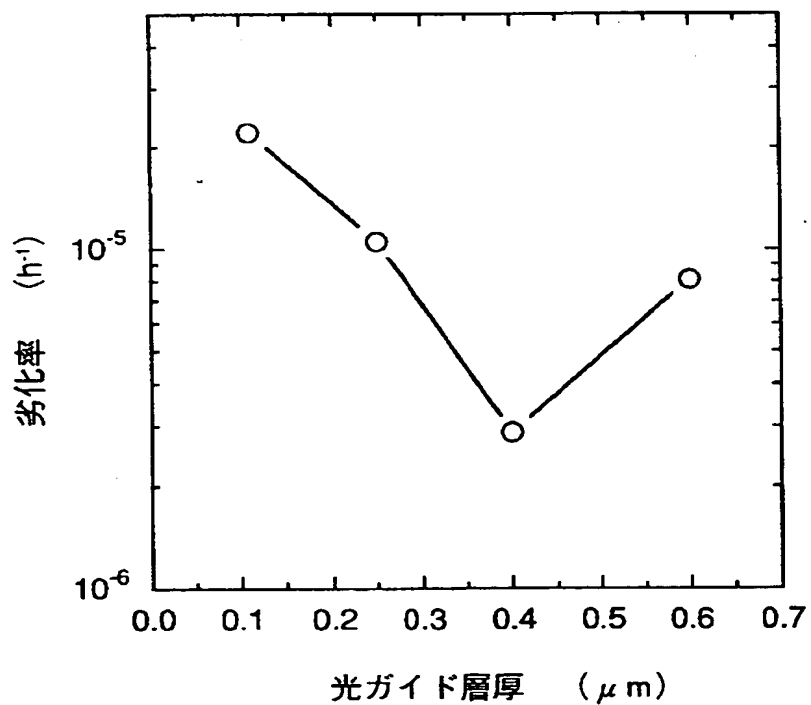
【図 7】



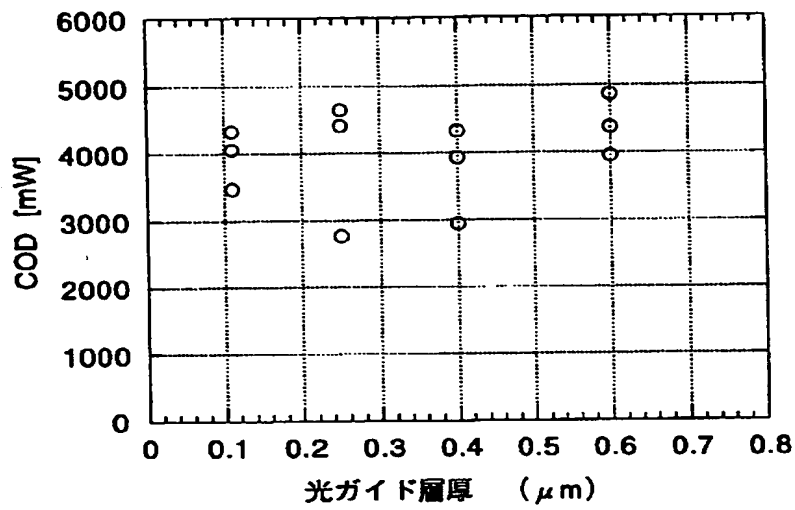
【図 8】



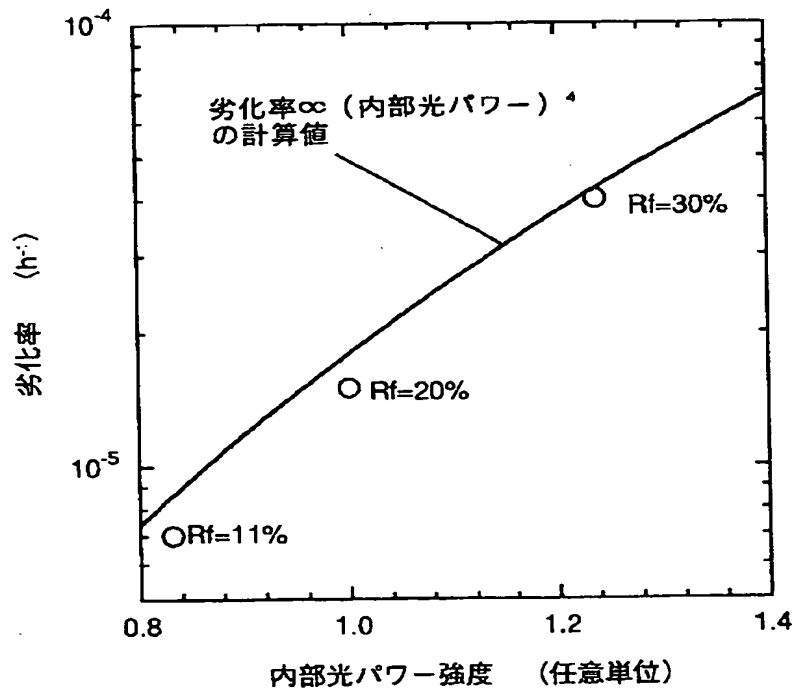
【図 9】



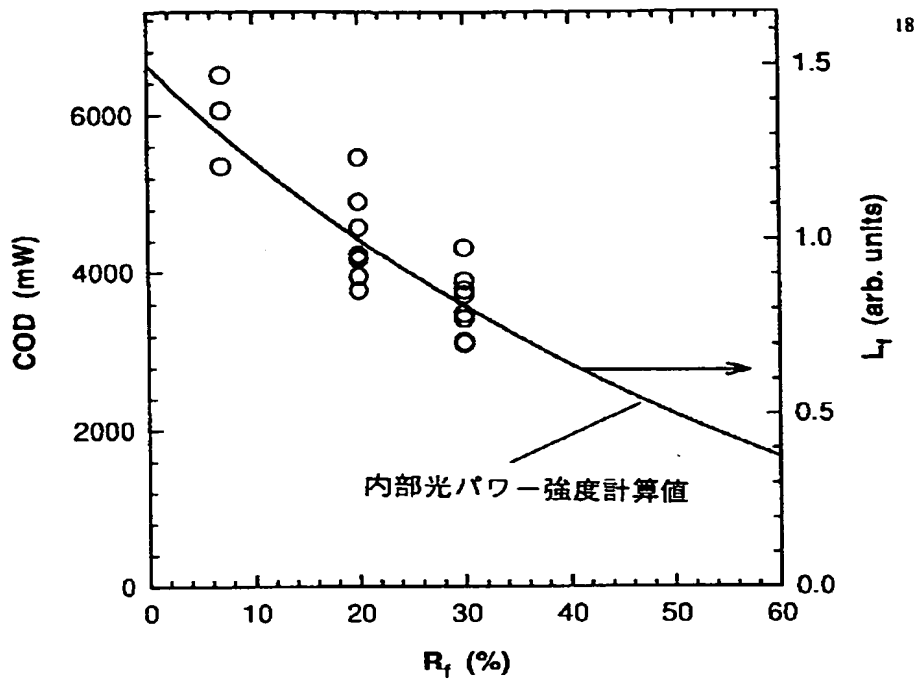
【図 10】



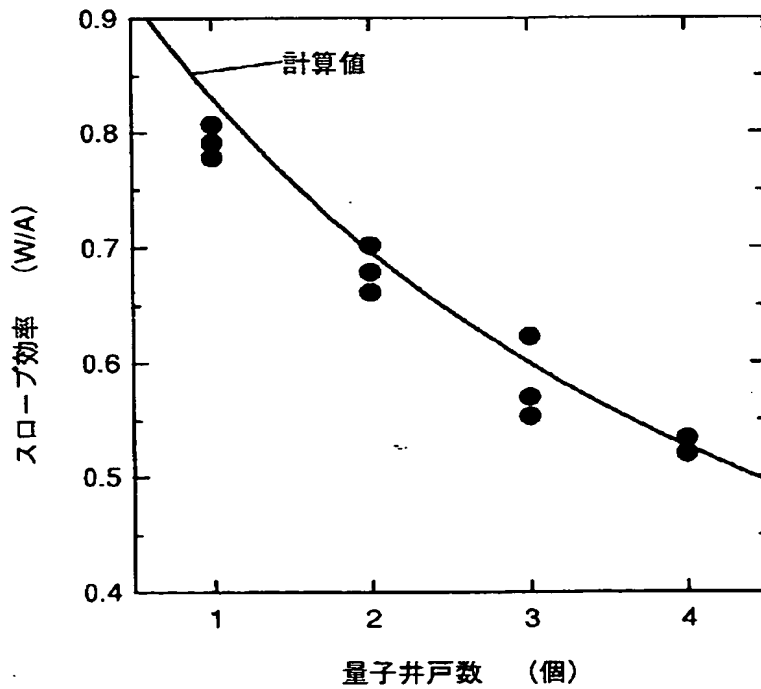
【図 11】



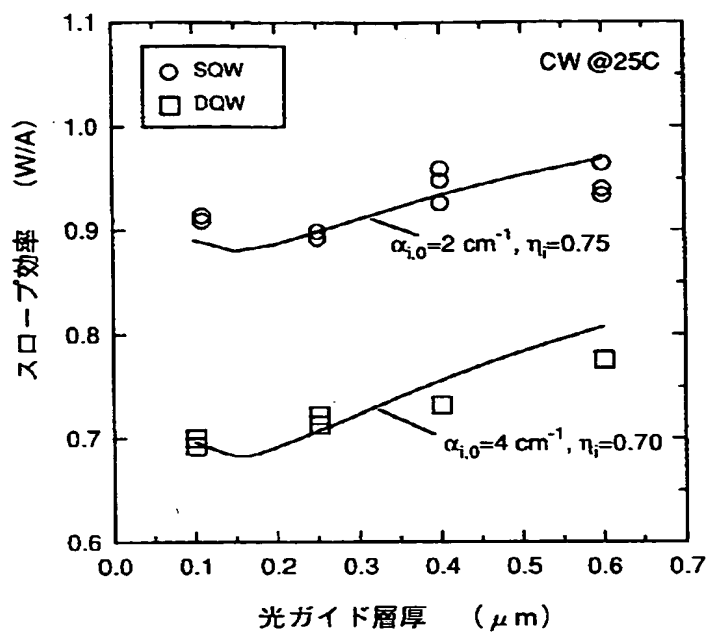
【図 1 2】



【図 1 3】

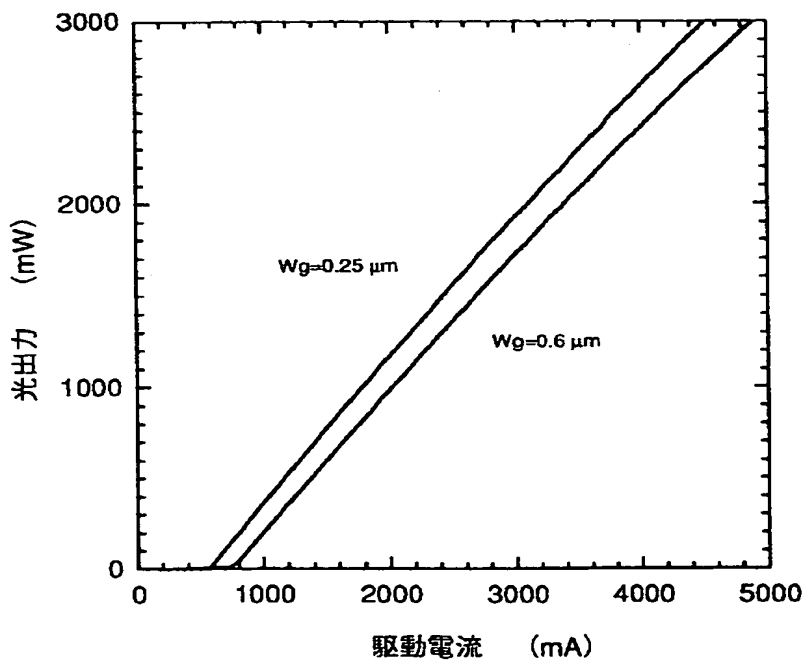


【図 14】

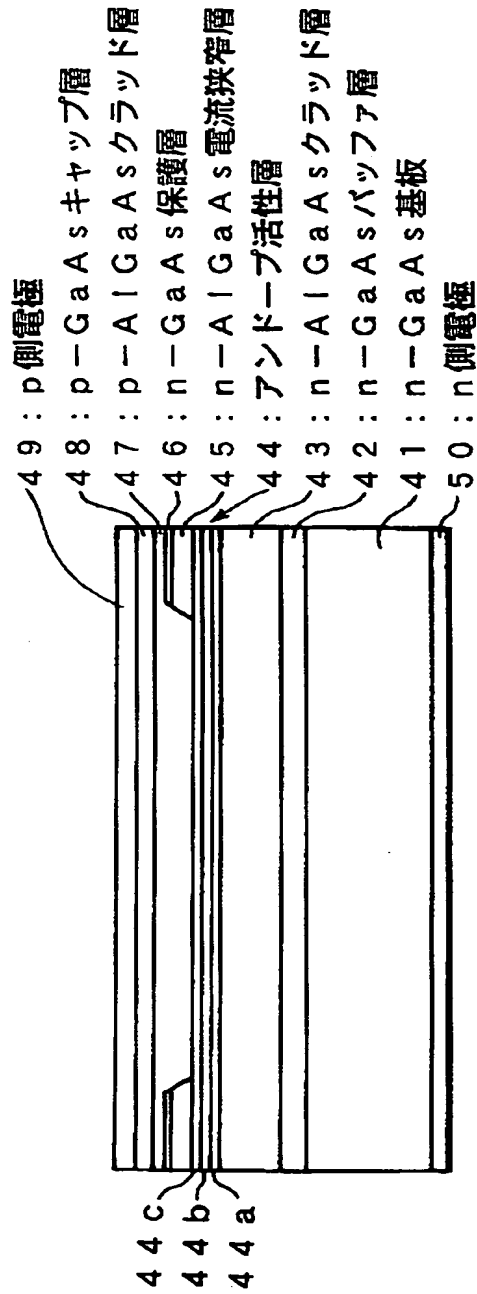


19

【図 15】

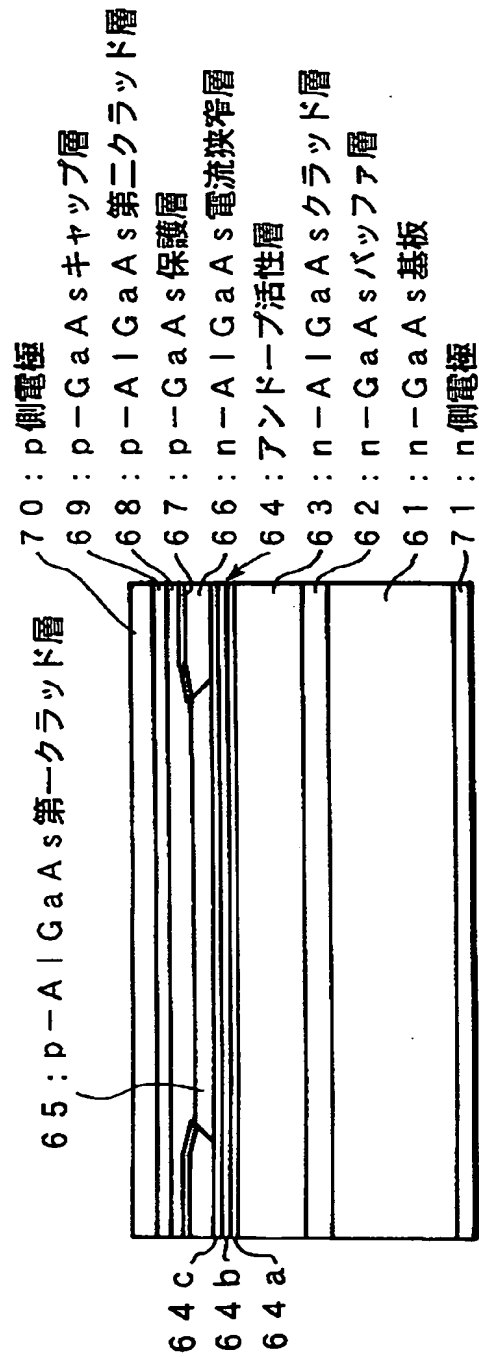


【図 16】





【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Al を含まない活性層材料の使用による長寿命化の効果がより顕著に得られ、そして、長期信頼性もより高い高出力半導体レーザを得る。

【解決手段】 少なくとも量子井戸層および光ガイド層を含む活性領域 4 が、Al を含まない  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなり、そしてクラッド層 3、5 が AlGaAs からなる半導体レーザにおいて、光ガイド層 4a、4c の厚みを少なくとも一方において  $0.25\mu\text{m}$  以上とし、光ガイド層 4c の上にある上部 AlGaAs クラッド層 5 を一部、光ガイド層 4c との界面まで選択的に除去する。

【選択図】 図 1

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】  
【識別番号】 000005201  
【住所又は居所】 神奈川県南足柄市中沼 210 番地  
【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100073184  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-18-20 BE  
NEX S-1 7 階 柳田国際特許事務所  
【氏名又は名称】 柳田 征史  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100090468  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-18-20 BE  
NEX S-1 7 階 柳田国際特許事務所  
【氏名又は名称】 佐久間 剛

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地  
氏 名 富士写真フイルム株式会社